

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-2800

(P2003-2800A)

(43)公開日 平成15年1月8日(2003.1.8)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
C 3 0 B 29/62		C 3 0 B 29/62	K 4 G 0 4 6
B 8 2 B 1/00		B 8 2 B 1/00	4 G 0 7 7
3/00		3/00	
// C 0 1 B 31/36	6 0 1	C 0 1 B 31/36	6 0 1 B

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-191226(P2001-191226)

(22)出願日 平成13年6月25日(2001.6.25)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71)出願人 301023238

独立行政法人物質・材料研究機構

茨城県つくば市千現一丁目2番1号

(72)発明者 安藤 寿浩

茨城県つくば市竹園3-504-102

(72)発明者 蒲生 美香

茨城県つくば市並木2-104-102

(74)代理人 100082876

弁理士 平山 一幸 (外1名)

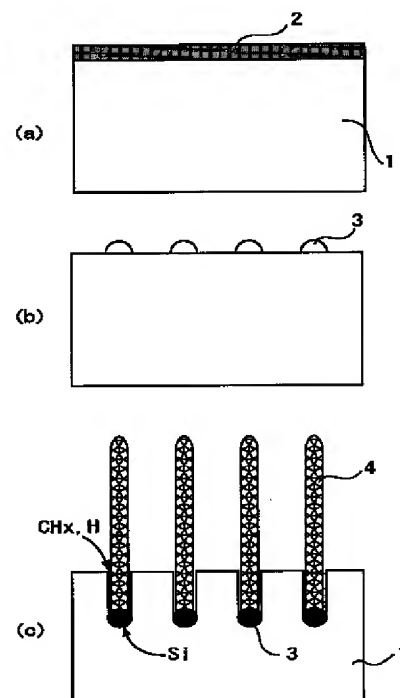
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 3C-SiCナノウィスカーの合成方法及び3C-SiCナノウィスカー

(57)【要約】

【課題】 直径と長さが制御でき、Si基板上に成長でき、かつ、安全でコストの低い3C-SiCナノウィスカー合成方法を提供する。また、可視光の発光波長が異なる3C-SiCナノウィスカーを提供する。

【解決手段】 Si基板1上に金属元素からなる薄膜2を堆積し、この基板1を水素と炭化水素からなるプラズマ中で所定の基板温度で一定時間保持して形成する。金属液体粒子3にSi基板1のSiとプラズマ中のCが過飽和に溶解込み、金属液体粒子3上に3C-SiCナノウィスカー4が成長し、ウィスカーの表面はHで終端されて直径が一定に保たれ、ウィスカーの根本の金属液体粒子3はSi基板1のSiを取り込んで、Si基板1中に潜り込む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 Si基板上に金属元素からなる薄膜を堆積し、この基板を水素と炭化水素からなるプラズマ中で所定の基板温度で一定時間保持して形成することを特徴とする、3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項2】 前記金属元素は、Fe、Co、Niから選ばれるいずれか一つの元素、または複数の元素であることを特徴とする、請求項1に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項3】 前記金属元素からなる薄膜の厚みを制御してウィスカーの径を制御することを特徴とする、請求項1または2に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項4】 前記基板をプラズマ中で保持する温度及び時間を制御してウィスカーの長さを制御することを特徴とする、請求項1に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項5】 前記金属元素はFeであり、前記炭化水素は化学組成式、 $C_n H_{2n+2}$ であらわされるパラフィン炭化水素であることを特徴とする、請求項1または2に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項6】 前記金属元素からなる薄膜は、5nmから105nmの膜厚のFe薄膜であることを特徴とする、請求項5に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項7】 前記所定の基板温度は、800℃から1100℃の範囲であることを特徴とする請求項1に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項8】 前記プラズマは、マイクロ波プラズマであることを特徴とする、請求項1または4に記載の3C-SiCナノウィスカーの合成方法。

【請求項9】 化学組成式がSiCで表され、立方晶格子をなし、かつ、ナノサイズの径を有するウィスカーであることを特徴とする、3C-SiCナノウィスカー。

【請求項10】 前記ウィスカーの径が8nmから50nmのいずれかであり、ウィスカーの軸方向に均一な径を有することを特徴とする、請求項9に記載の3C-SiCナノウィスカー。

【請求項11】 前記ウィスカーの根元が、Si基板中に埋め込まれて固定されており、Si基板表面にほぼ垂直に成長していることを特徴とする、請求項9に記載の3C-SiCナノウィスカー。

【請求項12】 前記ウィスカーの径によって発光波長が異なることを特徴とする、請求項9に記載の3C-SiCナノウィスカー。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、化学組成式がSiCで表され、立方晶格子を有し、かつ、ナノサイズの径を有するウィスカー、すなわち3C-SiCナノウィス

カーの合成方法並びに3C-SiCナノウィスカーに関する。

## 【0002】

【従来の技術】ナノメータサイズの結晶物質は、例えば、ナノチューブ、ナノロッド、ナノウィスカーといったものが良く知られている。これらのナノメータサイズの結晶物質は特異な幾何学的、構造的特徴を有しており、例えば、カーボンナノチューブは、電界放射型電子源、化学種貯蔵システム、また、機械的補強材といった用途に使用することができる。また、これらのナノメータサイズの結晶物質は、ナノメータという極めて微細な寸法を有する結晶物質であり、バルク体では発現しない様々な量子サイズ効果が発現する。したがって、これらのナノメータサイズの結晶物質のサイズを制御して製造することができれば、量子効果を制御することができ、ナノスケール量子デバイスを形成することができる。例えば、バルク体において間接遷移型バンド構造を有する半導体結晶物質も、ナノメータサイズの結晶にすると、量子サイズ効果により直接遷移型バンド構造となり、発光する。例えば、図9に示すような立方晶をなすSiC（炭化珪素）のバルク結晶、すなわち、3C-SiC（ $\beta$ -SiC）バルク結晶は、可視光帯の中心波長540nmに対応するバンドギャップエネルギー2.3eVを有し、高いキャリア移動度と高い飽和ドリフト速度を有しているが、間接遷移型バンド構造を有するために受発光デバイスとしては利用できなかった。

【0003】ナノメータサイズの3C-SiCナノウィスカーを合成できれば、量子閉じこめ効果に基づいて直接遷移型のバンド構造となり、オプトデバイスとして使用できる。また、3C-SiCナノウィスカーの直径を制御して合成できれば、量子閉じこめ効果に基づいてバンド幅を制御できるから、任意の波長の可視光を発光できる。また、ナノメータサイズの3C-SiCナノウィスカーをSi基板上に成長できれば、従来のSiデバイスと3C-SiCナノウィスカーによるデバイスとを同一のチップ上に集積でき、高度の機能を有するオプトエレクトロニクスデバイスを実現できる。このように、3C-SiCナノウィスカーを合成でき、また、直径を制御して合成でき、かつ、Si基板上に成長できれば、高いキャリア移動度と高い飽和ドリフト速度を有する次世代の高速エレクトロニクスデバイス用材料としてのみならず、その大きなバンドギャップエネルギーを活かして、高温、高電力デバイス、サブミクロン波長レベルの耐放射線デバイス、発光デバイス、さらにはオプトエレクトロニクス用の材料として使用することができる。

【0004】従来、SiCウィスカーを合成する技術としては、マイクロメータサイズの直径を有する厚いSiCウィスカーを合成する技術が公知である。この方法は、非常に高温（1250℃以上）の熱化学気相堆積法

により、グラファイト基板上に成長させるものである( Appl. Phys. Lett. 72, 1835p (1998) 参照)。この方法によるSiCウィスカーは、直径がマイクロメートルのサイズであり、量子閉じこめ効果は生じず、従って可視光の発光は生じない。また、グラファイト基板上に堆積させるものであり、生成したSiCウィスカーをデバイスに加工することは困難である。また、この製造方法は、Si源としてシラン( $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ )等の有毒、かつ可燃性のガスを使用するため、安全対策を施した大がかりな装置を必要とし、コストが高いと言った課題がある。また、カーボンナノチューブにSiOを反応させたり、または、SiとCとOからなる固体混合物をホットフィラメントで蒸発させてカーボンナノチューブ表面で反応させる境界反応法と呼ばれる方法がある( Mater. Sci., 18, 1255 (1999) 参照, Appl Phys. Lett., 74, 3942 (2000) 参照)。この方法によれば、サイズはナノメートルであるが、表面が酸化されてしまい、半導体材料としては使用できない。このように、3C-SiCナノウィスカーは極めて多くの用途を有しているが、その合成方法が無かった。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記課題に鑑み、直径と長さを制御してSi基板上に成長でき、かつ、コストの低い3C-SiCナノウィスカーの合成方法を提供することを目的とする。また、可視光の発光が可能なる3C-SiCナノウィスカーを提供することを目的とする。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の3C-SiCナノウィスカーの合成方法は、Si基板上に金属元素からなる薄膜を堆積し、この基板を水素と炭化水素からなるプラズマ中で、所定の基板温度で一定時間保持して形成することを特徴とする。金属元素として、Fe、Co、Niから選ばれるいずれか一つの元素、または複数の元素が使用可能である。また、金属元素からなる薄膜の厚みを制御してウィスカーの径を制御することを特徴とする。また、基板をプラズマ中で保持する基板温度、及び時間を制御してウィスカーの長さを制御することを特徴とする。この構成によれば、ウィスカーの根元がSi基板中に埋め込まれた3C-SiCナノウィスカーが基板表面上に成長する。また、堆積する金属元素からなる薄膜の厚みを制御することにより、薄膜の厚みに比例した径を有する3C-SiC単結晶ナノウィスカーを形成できる。また、基板温度を制御して、3C-SiC単結晶ナノウィスカーの長さを制御することができる。さらに、固体のSiをSi原子の供給源とするので、3C-SiC単結晶ナノウィスカーを極めて安全でかつ低コストで製造することができる。

【0007】本発明の3C-SiCナノウィスカーの合成方法によれば、基板温度によって金属元素からなる薄膜がナノメートルサイズの金属液体微粒子となって島状にSi基板表面上に高密度に分布し、金属液体微粒子に基板のSi原子とプラズマ中のC原子が過飽和に溶け込み、溶け込んだSi原子とC原子が金属液体微粒子の表面に析出してウィスカーの核を形成し、この核に金属液体微粒子中からSi原子とC原子が連続的に供給されてウィスカーが成長すると共に、このウィスカーの表面がプラズマ中の水素原子によって終端されるために、ウィスカーの径を一定に保ちながら3C-SiCナノウィスカーが成長する。また、ウィスカーの根元に存在する金属液体微粒子がSi原子を溶け込ませながらSi基板に進入し、かつ、金属液体微粒子がSiとシリサイドを形成するから、3C-SiCナノウィスカーは強固にSi基板に固定される。

【0008】また、Si基板はどのような面方位基板でも良く、多結晶でも良い。金属元素はFeが好ましく、炭化水素は化学組成式、 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ であらわされるパラフィン炭化水素でも良く、例えば、メタン、エタン、またはブタンでも良い。また、Fe金属元素からなる薄膜は5nmから105nmの膜厚のFe薄膜が好ましい。基板を水素と炭化水素からなるプラズマ中で保持する際の基板温度は、800℃から1100℃の範囲であることが好ましい。このプラズマは、マイクロ波プラズマであっても良い。この構成による本発明の3C-SiCナノウィスカーの合成方法によれば、Fe薄膜の膜厚に応じて、8nmから50nmの範囲の所望の径を有する3C-SiCナノウィスカーを合成することができる。

【0009】また、本発明の3C-SiCナノウィスカーは、化学組成式がSiCで表される立方晶格子をなし、かつ、ナノサイズの径を有するウィスカーであることを特徴とする。好ましくは、ウィスカーの径は8nmから50nmの範囲で選択でき、ウィスカーの軸方向に均一な径を有する。ウィスカーの根元は、好ましくは、Si基板中に埋め込まれて強固に固定され、Si基板表面にほぼ垂直に成長している。また、ウィスカーの径によって発光波長が異なることを特徴とする。この構成による3C-SiCナノウィスカーは、量子閉じ込め効果によって可視光を発光し、かつ、ウィスカーの径によって発光波長を変えることができる。例えば、本発明の3C-SiCナノウィスカーをディスプレイ装置に応用すれば、3C-SiCナノウィスカーの径を変化させて形成し、同一の材料から複数の発光波長を有する光源を得ることができる。また、同一のSi基板上にSiからなる種々の電子デバイスと3C-SiCナノウィスカーなる発光デバイスとを混載できる。また、強固、かつ高密度に基板に固定されているので、種々のデバイスに使用する場合に極めて取り扱いやすい。

## 【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を用いて詳細に説明する。本発明の3C-SiCナノウィスカーの合成工程を説明する。始めに、Si基板表面を有機溶媒、フッ酸等の酸を用いて洗浄する。次に、洗浄したSi基板上に、スパッタ等の成膜手段を用いて、金属薄膜を堆積する。この際、目的とする3C-SiCナノウィスカーの径によって、金属薄膜の厚みを選択する。次に、金属薄膜を堆積したSi基板をプラズマCVD装置に配置し、水素ガスと炭化水素ガスとを特定の流量比で流し、特定の圧力に保ちながらプラズマ放電を励起する。基板温度は、特に制御装置を用いなくてもよく、プラズマパワーを適切に制御し、プラズマの輻射熱で制御しても良い。一定のプラズマパワーで、一定時間保持して、3C-SiCナノウィスカーを形成する。

【0011】本発明の3C-SiCナノウィスカーの形成メカニズムは、以下のように考えることができる。図1は、本発明の3C-SiCナノウィスカーの形成メカニズムを示す模式図である。本発明の3C-SiCナノウィスカーの製造方法によれば、図1(a)および(b)に示すように、Si基板1上に堆積した金属薄膜2が、Si基板1を高温にすることによって液体となり、金属液体微粒子3となってSi基板1上に島状に分布する。金属薄膜2が厚ければ液体微粒子3の粒径が大きくなり、薄ければ液体微粒子3の粒径は小さくなる。金属元素の種類、金属薄膜の厚みおよび基板温度を適切に選べば、所望のナノメータサイズの液体微粒子3を所望の密度でSi基板上に島状に分布させることができる。

【0012】図1(c)に示すように、金属液体微粒子3に、Si基板1のSiと、プラズマ中で分解した炭化水素からCが過飽和に溶け込む。溶け込んだSi原子とC原子が金属液体微粒子3の表面に析出してウィスカー4の核を形成し、この核に金属液体微粒子3中からSi原子とC原子が連続的に供給されて、ほぼ金属液体微粒子3の粒径に等しい径のウィスカー4が成長すると共に、この成長したウィスカー4の表面原子がプラズマ中の水素原子によって終端されるために表面に垂直方向には成長せず、ウィスカー4の径を一定に保ちながら3C-SiCナノウィスカーが成長する。成長時間を選択すれば、ウィスカー4の軸方向の長さを調節できる。また、金属液体微粒子3がSi原子を溶け込ませながらSi基板に進入するから、ウィスカー4の根元がSi基板中に深く埋め込まれ、また、金属液体微粒子3がSiとシリサイドを形成するから、ウィスカー4は強固にSi基板1に固定される。

【0013】本発明の3C-SiCナノウィスカーの製造方法を用いれば、Si基板上に高密度で、かつSi基板に強固に結合した所望の径及び長さを有する3C-SiCナノウィスカーを得ることができる。また、この方

法によれば、Si原子の供給源として、固体Siを使用し、シランなどの危険なガスを使用しないので、安全かつ低コストで製造できる。

【0014】本発明のウィスカーは、化学組成式SiCで表され、立方晶格子をなし、かつ、ナノサイズの径を有する単結晶ウィスカーである。3C-SiCナノウィスカーの径は、8nmから50nmの範囲で任意に選択することができ、ウィスカーの径はウィスカーの軸方向に均一である。また、ウィスカーの根元がSi基板中に埋め込まれて固定されており、Si基板表面にほぼ垂直に、かつ高密度に成長している。この構成による3C-SiCナノウィスカーは、量子閉じ込め効果によって可視光を発光し、かつ、ウィスカーの径によって発光波長を変えることができる。また、Siデバイスと3C-SiCナノウィスカーからなるデバイスとを混載することができる。例えば、3C-SiCナノウィスカーの径を変化させて複数の発光波長を有する光源を形成し、同一のSi基板上にSiからなる発光制御に必要な種々の電子デバイスを形成すれば、極めてコンパクトなディスプレイ装置を実現できる。

【0015】次に、本発明の実施例を説明する。10×20×1mm<sup>3</sup>の鏡面Si(100)基板をエタノールで超音波洗浄し3%濃度のHF液で3分間エッチングした。次に、このSi基板上に、Ar雰囲気中のスパッタ法によりFe薄膜を堆積させた。なお、試料はFe薄膜の膜厚を変えたものを種々作製した。次に、Fe薄膜を堆積させたSi基板をマイクロ波プラズマCVD装置に配置した。このマイクロ波プラズマCVD装置は、石英管チャンバーが水平に配置された横型装置であり、Si基板はこの石英管内に垂直に立てて配置する。次に、石英管チャンバーを約0.5mTorrに真空引きし、H<sub>2</sub>ガスを100SCCM、CH<sub>4</sub>ガスを〜0.05SCCMの流量で導入し、40Torrの真空度に保った。次に、420〜550Wのマイクロ波プラズマを励起した。Si基板はマイクロ波プラズマによって加熱され、Si基板の温度はSi基板表面に焦点を合わせた光学パイロ温度計によって測定した。成長時間は6時間である。

【0016】3C-SiCナノウィスカーは基板温度が800〜1100℃の範囲において成長した。3C-SiCナノウィスカーはSi基板上に成長した埃の薄い層のように見える。3C-SiCナノウィスカーの成長速度は基板温度の上昇と共に大きくなり、また成長時間が長いほど3C-SiCナノウィスカーの長さは長くなった。

【0017】Si基板上に24nm厚さのFe薄膜を堆積し、900℃の基板温度で成長した3C-SiCナノウィスカーの形状を図2に示す。図2(a)は試料表面のSEM(Scanning Electron Microscopy)像を示す図であり、図2(b)は形

成された3C-SiCナノウィスカーの直径の分布を示している。図2から明らかなように、Si基板表面全体が3C-SiCナノウィスカーで覆われ、3C-SiCナノウィスカーは、径が5~38.5nmの範囲で分布し、15.4nmに径のピークを有することがわかる。3C-SiCナノウィスカーの密度はSi基板表面で均一であることがわかる。3C-SiCナノウィスカーの長さは1.5~2.1 $\mu$ mである。また、3C-SiCナノウィスカーの軸方向はSi基板表面にほぼ垂直であることがわかる。SEM及びTEM(Transmission Electron Microscopy)のEDX(Energy Dispersive X-ray spectroscopy)による化学成分分析では、比較SiC試料とほぼ同等の成分比を示した。

【0018】図3はTEMで測定した本実施例のウィスカーのTEM像及び電子線回折像を示す図である。図3(a)から明らかなように、本発明のウィスカーは基本的になめらかな表面と細長い形状を有している。そして、このウィスカーはほぼ真っ直ぐであり、曲がりや捻れがないことがわかる。また、このウィスカーは、ほとんどが円形断面を有する円筒状であり、いくらかは、正方形、長方形、三角形あるいは六角形の断面を有している。しかしながら直径が10nm以下のウィスカーは円形断面を有している。図3(b)と(c)はそれぞれ、径が11nmのウィスカーと径が45nmのウィスカーの高倍率TEM像を示す図である。これらの図から明らかなように、これらのウィスカーは単結晶3C-SiC構造を有している。ウィスカーの軸はおおよそ、3C-SiC結晶の[111]方向に沿っている。ウィスカーを空气中に晒した後においても、ウィスカー表面の酸化は認められず、3C-SiC化合物の耐酸化特性を反映している。図3(c)に示した厚いウィスカーのSAED(Selected-Area Diffraction)パターンを図3の右下に示す。この回折像は電子ビームを3C-SiC結晶[011]方向に平行に照射して測定したものである。回折パターンにおける200回折斑点は、結晶格子におけるC及びSiの非対称効果に基づいた3C-SiC結晶構造に特有な回折斑点である。なぜなら、Si単結晶及びダイヤモンド単結晶においては、200回折が二重回折禁止則により禁止されており、または生じていても非常に弱いからである。

【0019】図4は、ラマン励起光をSi基板上のウィスカーに集光し、室温で測定した共焦点マイクロ・ラマンスペクトルの測定結果を示す図である。3C-SiCナノウィスカーは、大きなエネルギーギャップを持った半導体であるので、光の浸透深さはかなり深く、Si基板表面からの1次のラマンピークは、半値全幅15 $\text{cm}^{-1}$ を有する520 $\text{cm}^{-1}$ のピークが支配的である。横光学フォノン(TO)に対応する788 $\text{cm}^{-1}$ のピークと縦光学フォノン(LO)に対応する約950 $\text{cm}^{-1}$ のピ

ークは、このナノウィスカーが3C-SiC結晶構造を有することを示している。TOピークの半値全幅は27 $\text{cm}^{-1}$ であり、ピーク位置は公表されているバルクの3C-SiCのデータ( $\omega_{\text{TO}}=793\text{cm}^{-1}$ , FWHM<10 $\text{cm}^{-1}$ )に較べて5 $\text{cm}^{-1}$ 低い。3C-SiCナノウィスカーからのラマン散乱は、LOモードよりもTOモードの方がより大きい、このことはSi基板上で3C-SiC結晶[111]軸方向に成長したウィスカーの構造に基づく選択則から導かれることである。

【0020】Si(100)基板上に形成される3C-SiCナノウィスカーの性質を調べるために、異なった膜厚のFe薄膜を堆積し、異なった基板温度で合成して、一連の試料を作製した。その結果、ナノウィスカーは基板温度が800℃から1000℃まで、及び、Feの厚さが9nmから105nmまでで成長することがわかった。これらのナノウィスカーの直径は、全てFe薄膜の厚さよりも小さかった。

【0021】全ての試料において、90個のナノウィスカーを選択して直径を測定し、最も多く存在する直径を求め、この直径の基板温度及びFe薄膜の膜厚依存性を求めた。図5は、3C-SiCナノウィスカーの直径の基板温度及びFe薄膜の膜厚依存性を示す図であり、図5(a)はFe薄膜の膜厚を一定とした場合の基板温度依存性、図5(b)は基板温度を一定とした場合のFe薄膜の膜厚依存性を示す図である。図5(a)、(b)から明らかなように、直径は、基板温度800℃の8nmから基板温度の上昇と共に増大し、基板温度950℃の32nmで最大に到り、950℃から1000℃までは減少する。また、Fe薄膜の膜厚を9nmから105nmまで増加させたときの直径は、9nmから58nmまで単調に増加する。この結果は、直径を支配するメカニズムが基板表面のFe液体微粒子の大きさに依存していることを示している。基板温度に対して厚すぎるFe薄膜は液体微粒子にならないため、ナノウィスカーは成長しない。また、Fe薄膜は薄すぎてもナノウィスカーは成長せず、例えば、基板温度900℃で3C-SiCナノウィスカーを成長させるためには、Fe薄膜の厚さは少なくとも9nm以上必要である。

【0022】図6はナノウィスカーがSi基板の孔から成長している様子を示す図であり、図6(a)は試料表面のSEM像であり、図6(b)は試料断面のSEM像である。図6(a)の試料表面のSEM像から、ナノウィスカーの根元はSi基板表面よりも下に存在することがわかる(図中の白矢印で示している)。図6(b)の試料断面SEM像から、Si基板の表面からかなりの深さにもぐり込んだナノウィスカーの根元と共に、多くの孔が存在することがわかる。

【0023】次に、本発明の製造方法によって作製した3C-SiCナノウィスカーのPL(Photo Luminescence)について説明する。図7は室温

で測定したPLスペクトルを示す図であり、励起光の波長は325nmである。図中の(a), (b), (c), (d), (e)で示すPLスペクトルはそれぞれ、3C-SiCナノウィスカーの合成時の基板温度が、800℃、850℃、900℃、950℃、1000℃の試料のスペクトルであることを示す。図7から明らかに、PLスペクトルはいくらか非対称な形状を有し、幾つかの単純なピークに分解不可能なブロードなスペクトル分布を有している。PL強度は合成時の基板温度の増大と共に増大している。この増大現象は、SEM像の形態観察から、基板温度、及びFe薄膜の厚みの増大に伴ってSi基板表面近傍の単位体積当たり存在するナノウィスカー量が増大することがわかっており、PL強度の基板温度依存性は、PL励起光の照射領域における3C-SiCナノウィスカーの量によるものと考えられる。

【0024】次に、PLのピークエネルギーと3C-SiCナノウィスカーの直径との関係を説明する。図8は、PLのピークエネルギーと3C-SiCナノウィスカーの直径との関係を示す図であり、横軸は3C-SiCナノウィスカーの直径を示し、縦軸はPLのピークエネルギーを示す。図8から明らかに、PLのピークエネルギー  $E_{\text{peak}} = 2.16 + 32d_{\text{w}}^{-2}$

で表される。PLのピークエネルギーは正確にはエネルギーギャップに等しくはないが、上記(1)式の第1項の2.16eVは、かなり3C-SiCのエネルギーギャップに近い値である。(1)式は、3C-SiCナノウィスカーを材料とする光デバイスを製造する場合に利用すれば極めて有用である。

【0025】

【発明の効果】上記説明から理解されるように、本発明によれば、Si基板に強固に固定された3C-SiCナノウィスカーを、直径及び長さを制御して高密度に合成することができる。また、本発明によれば、安全に、かつ、低コストで3C-SiCナノウィスカーを合成することができる。また、本発明の3C-SiCナノウィスカーは、Siプロセスに整合する発光材料として使用することができ、量子閉じ込め効果に基づく発光が可能な3C-SiCナノウィスカーデバイスとSiデバイスとを混載すれば、極めて有用なデバイスを形成できる。また、高いキャリア移動度と高い飽和ドリフト速度を有する次世代の高速エレクトロニクスデバイス用材料として使用でき、また、高温、高電力デバイス、サブミクロン波長レベルの耐放射線デバイス、発光デバイス、さらにはオプトエレクトロニクス用の材料としても使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の3C-SiCナノウィスカーの形成メカニズムを示す模式図である。

クエネルギーは3C-SiCナノウィスカーの直径を減少させると、期待したように青方偏移する。PLのピークエネルギーが3C-SiCナノウィスカーの直径によって単調に変化することは、量子閉じ込め効果であることを示唆している。2次元の量子閉じ込め効果は、バルクの3C-SiCのバンドギャップエネルギーを越えたPLを可能にする。量子サイズのナノウィスカー及びナノウィスカーの外側に無限大のポテンシャル障壁を仮定して、Forchelらは、閃亜鉛鉱型結晶構造、及び一定形状の長方形断面を有するウィスカーの最低エネルギーレベルが長方形の辺の減少に伴って青方偏移することを証明し、また、量子化エネルギー、すなわち、電子とホールエネルギーギャップEが、ウィスカーの幅をLxとして、 $E \propto 1/Lx^2$ で変化することを証明した(Semicond. Sci. Technol. 11, 1529(1996)参照)。本実施例においては、ほとんどの3C-SiCナノウィスカーが円筒断面を有し、ほんの僅かの3C-SiCナノウィスカーが長方形断面を有しているのみであるが、図8から明らかに、PLのピークエネルギー( $E_{\text{peak}}$ )は、 $d_{\text{w}}$ を3C-SiCナノウィスカー試料の最も多く存在する直径として、

(eV) (1)式

【図2】(a)は試料表面のSEM(Scanning Electron Microscopy)像を示す図であり、(b)は形成された3C-SiCナノウィスカーの直径の分布を示す図である。

【図3】TEMで測定した本実施例のウィスカーのTEM像及び電子線回折像を示す図である。

【図4】Si基板上のウィスカーに集光し、室温で測定した共焦点マイクロ・ラマンスペクトルの測定結果を示すグラフである。

【図5】3C-SiCナノウィスカーの直径の基板温度及びFe薄膜の膜厚依存性を示す図であり、(a)は基板温度依存性を、(b)はFe薄膜の膜厚依存性を示すグラフである。

【図6】3C-SiCナノウィスカーがSi基板の孔から成長している様子を示す図であり、(a)は試料表面のSEM像、(b)は試料断面のSEM像である。

【図7】室温で測定したPLスペクトルを示すグラフである。

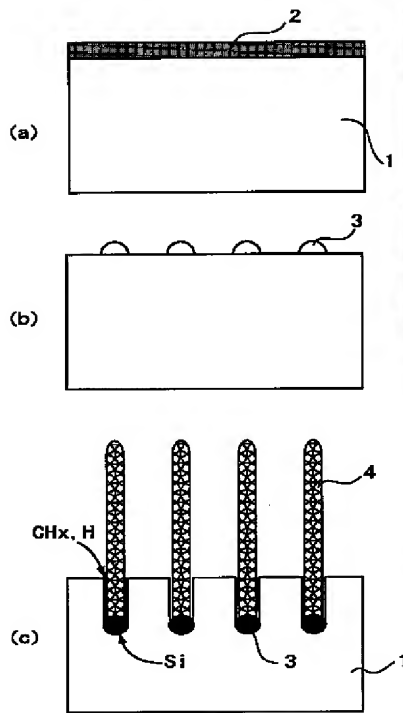
【図8】PLのピークエネルギーと3C-SiCナノウィスカーの直径との関係を示すグラフである。

【図9】3C-SiCの結晶構造を示す図である。

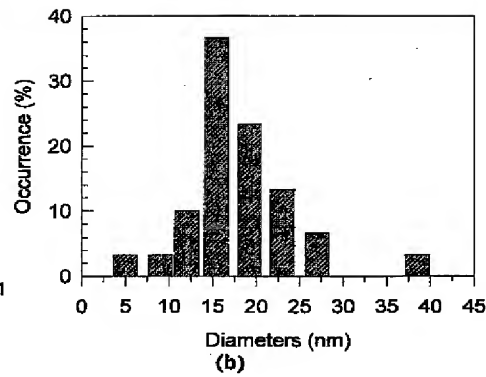
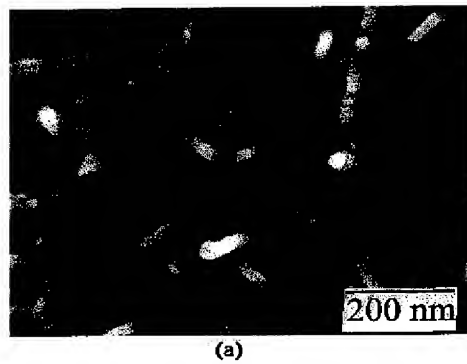
【符号の説明】

- 1 Si基板
- 2 金属元素からなる薄膜
- 3 金属液体微粒子
- 4 ウィスカー

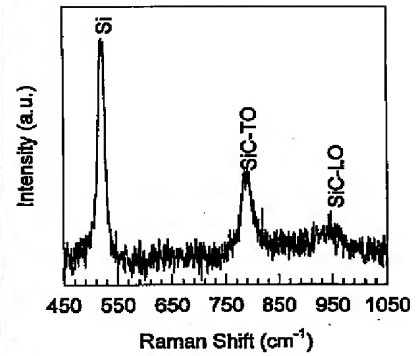
【図1】



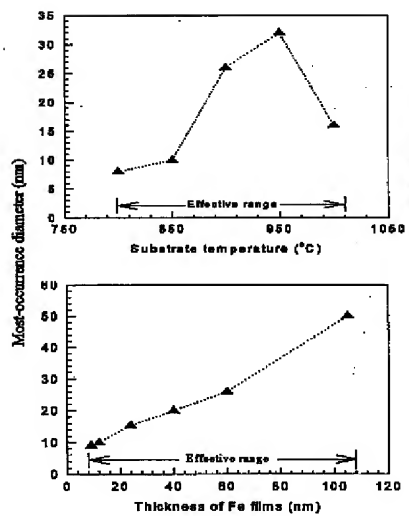
【図2】



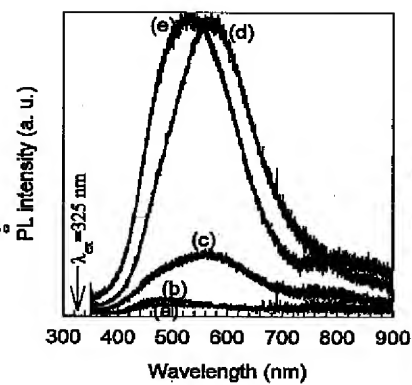
【図4】



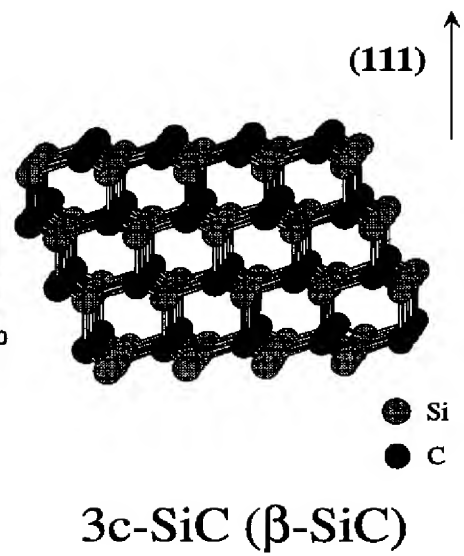
【図5】



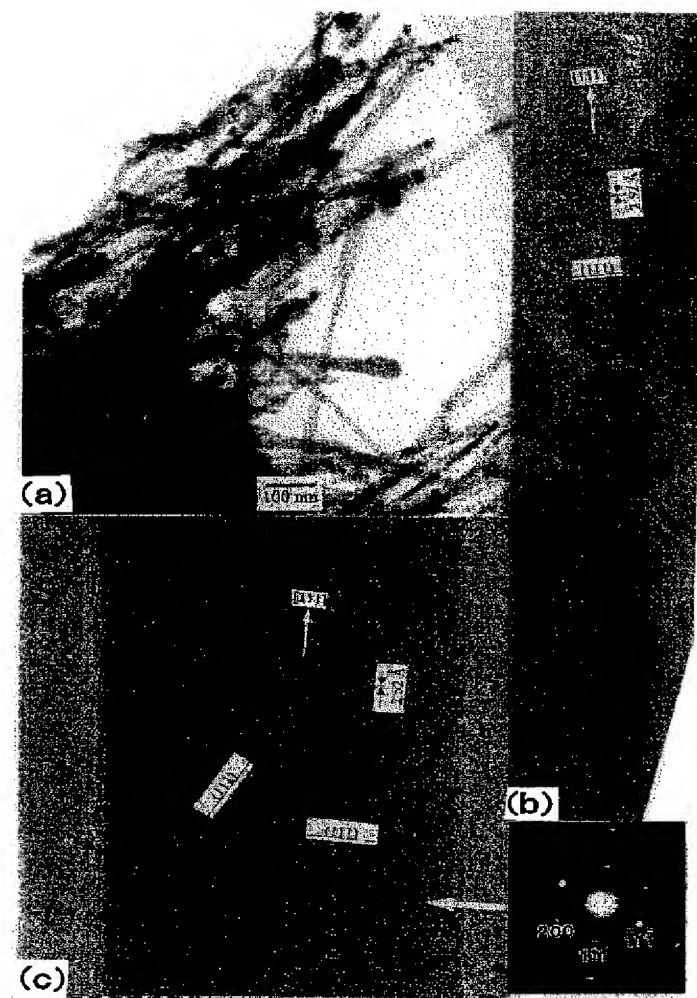
【図7】



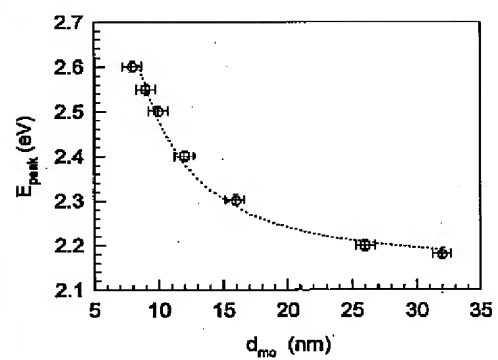
【図9】



【図3】

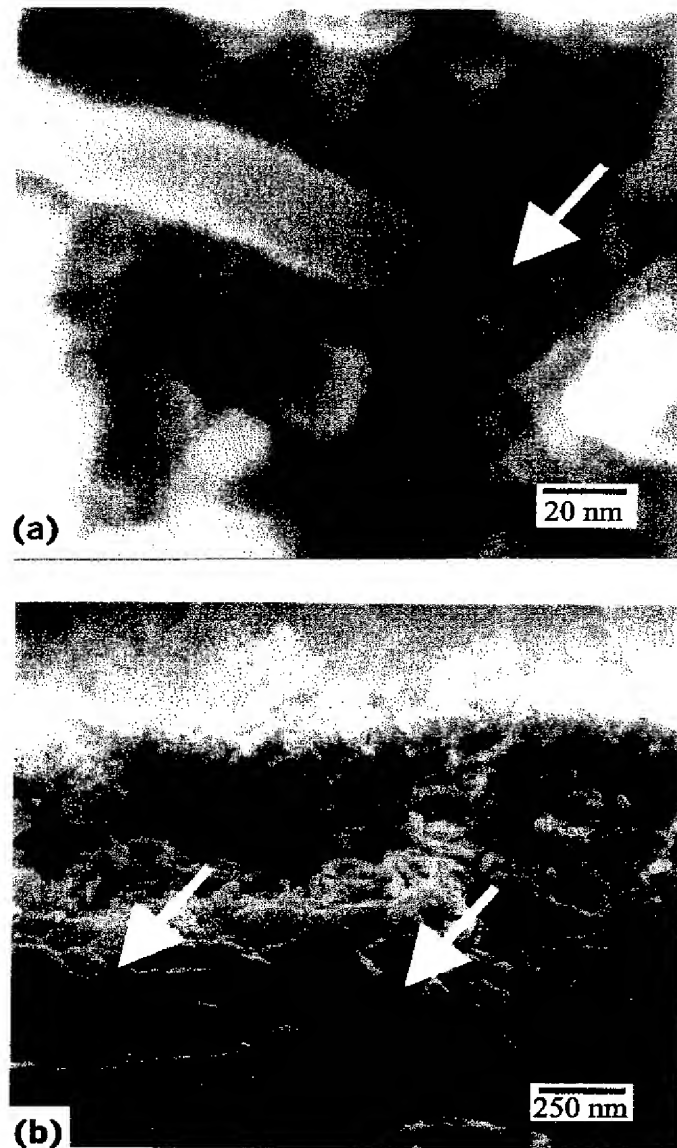


【図8】





【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 張 亜非  
茨城県つくば市千現2-12-4

Fターム(参考) 4G046 MA14 MB04 MC02  
4G077 AA04 BE08 DB19 ED06 EE05  
EE06 HA20